

## HUBUNGAN KEANEKARAGAMAN MAKROBENTOS DENGAN HABITAT IKAN DI SUNGAI PADA EKOWISATA BERBEDA

Umi Nurjanah<sup>1</sup>, Haqqi Anajili Setiyanto<sup>2</sup>

Universitas Islam Jember<sup>1,2</sup>

kholidumi@gmail.com<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan keanekaragaman makrobentos dan habitat ikan melalui parameter biotik dan abiotik serta memberikan gambaran tentang dampak ekowisata terhadap kesehatan ekosistem sungai. Metode yang digunakan meliputi survei lapangan, pengambilan sampel makrobentos dengan metode kicking, pengukuran parameter fisik dan kimia perairan, serta analisis statistik. Hasil yang diperoleh adalah wisata Kampung Durian memiliki indeks keanekaragaman makrobentos tertinggi dengan nilai indeks 2.476. Hasil analisis ANOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0.529 yang berarti tidak ada pengaruh nyata antara tiga tingkat ekowisata terhadap indeks keragaman makrobentos. Hubungan keanekaragaman makrobentos dengan habitat ikan yaitu kimia-fisika air berdasarkan analisis regresi mempunyai hubungan yang signifikan yaitu 0.03. Hubungan suhu dengan keanekaragaman makrobentos negatif sedangkan pH dan DO adalah positif. Kesimpulannya adalah keanekaragaman makrobentos dan habitat ikan mempunyai hubungan yang nyata tetapi tidak ada pengaruh nyata dari tingkat intensitas ekowisata yang berbeda.

**Kata Kunci:** Ekowisata, Habitat Ikan, Makrobentos

### ABSTRACT

*This study aimed to analyze the relationship between macrobenthos diversity and fish habitat through biotic and abiotic parameters and provide an overview of the impact of ecotourism on the health of river ecosystems. The methods used include field surveys, macrobenthos sampling using the kicking method, measuring physical and chemical parameters of the water, and statistical analysis. The results obtained are that Kampung Durian tourism has the highest macrobenthos diversity index with an index value of 2.476. The results of the ANOVA analysis showed a significance value of 0.529, which means there is no significant effect between the three levels of ecotourism on the macrobenthos diversity index. The relationship between macrobenthos diversity and fish habitat, namely water chemistry-physics based on regression analysis, has a significant relationship of 0.03. The relationship between temperature and macrobenthos diversity is negative, while pH and DO are positive. The conclusion is that macrobenthos diversity and fish habitat have a significant relationship but there is no significant effect from different levels of ecotourism intensity.*

**Keywords:** *Ecotourism, Fish Habitat, Macrobenthos*

## **PENDAHULUAN**

Sungai merupakan ekosistem air tawar yang berperan penting dalam menyediakan berbagai layanan ekosistem, salah satunya sebagai sumber protein hewani melalui keberadaan ikan lokal. Keberlanjutan fungsi tersebut sangat bergantung pada kualitas air dan kesehatan ekologis sungai, yang menentukan kemampuan perairan dalam mendukung kehidupan organisme akuatik, baik ikan maupun biota dasar perairan (Dudgeon, 2019).

Seiring dengan meningkatnya pengembangan ekowisata berbasis sungai, tekanan terhadap ekosistem perairan juga semakin besar. Aktivitas wisata, seperti arung jeram, pembuangan limbah domestik, serta pembangunan infrastruktur di sekitar sungai, berpotensi menyebabkan perubahan struktur habitat, penurunan kualitas air, dan terganggunya keseimbangan ekologis sungai. Kondisi tersebut menimbulkan kekhawatiran terhadap keberlanjutan fungsi sungai sebagai habitat alami organisme akuatik (Vörösmarty et al., 2010).

Makrobentos merupakan organisme dasar perairan yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan dan banyak digunakan sebagai indikator biologis dalam penilaian kualitas perairan. Penurunan keanekaragaman makrobentos sering dikaitkan dengan degradasi kualitas air serta menurunnya fungsi ekosistem perairan (Nurjanah et al., 2015; Song et al., 2024). Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tekanan antropogenik dapat memengaruhi struktur komunitas makrobentos dan ikan secara signifikan, yang tercermin dari perubahan komposisi spesies serta meningkatnya dominasi organisme yang toleran terhadap gangguan lingkungan (Zajicek & Wolter, 2018; Hertika et al., 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keanekaragaman makrobentos dan ikan serta hubungannya dengan kualitas habitat perairan pada sungai yang memiliki tingkat tekanan ekowisata yang berbeda.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang mengaitkan keanekaragaman makrobentos sebagai indikator biologis dengan kualitas habitat ikan dalam konteks tekanan ekowisata sungai, yang hingga saat ini masih relatif terbatas dikaji, khususnya pada ekosistem sungai tropis.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengelolaan ekowisata sungai yang berkelanjutan, mendukung upaya konservasi keanekaragaman hayati perairan, serta menjaga keberlanjutan fungsi sungai sebagai penyedia sumber protein hewani bagi masyarakat lokal.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan di tiga sungai yang memiliki tingkat ekowisata berbeda berdasarkan tingkat kunjungan wisata, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali dengan interval waktu dua

minggu. Pada setiap lokasi, sampel makrobentos dikumpulkan menggunakan *D-frame net* dengan metode *kicking*. Lebar jaring yang digunakan adalah 30 cm dengan jarak tendangan 50 cm, kemudian sampel diawetkan dan diidentifikasi berdasarkan ciri morfologinya.

Kondisi habitat ikan diamati berdasarkan karakteristik fisik sungai yang meliputi jenis substrat dasar perairan, keberadaan vegetasi riparian, serta ketersediaan peneduh alami yang berperan dalam menjaga stabilitas suhu dan kompleksitas habitat perairan. Kualitas air diukur melalui parameter oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*), derajat keasaman (pH), dan suhu air. Nilai DO dinyatakan dalam satuan mg/L dan dievaluasi berdasarkan baku mutu perairan sungai yang mendukung kehidupan biota akuatik, yaitu  $\geq 5$  mg/L sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Parameter pH dinilai berdasarkan kisaran optimal bagi organisme akuatik air tawar, yaitu 6,5–8,5, sedangkan suhu air dievaluasi berdasarkan kisaran suhu yang mendukung kehidupan ikan air tawar tropis, yaitu 25–30 °C (Effendi, 2003; Dodds & Whiles, 2019; Dudgeon, 2019).

Struktur komunitas makrobentos dan ikan dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon–Wiener ( $H'$ ), dengan interpretasi nilai  $H' < 1,0$  menunjukkan keanekaragaman rendah dan kondisi lingkungan tertekan, nilai  $H'$  antara 1,0–3,0 menunjukkan keanekaragaman sedang dan kondisi perairan relatif stabil, serta nilai  $H' > 3,0$  menunjukkan keanekaragaman tinggi dan kondisi perairan yang stabil. Indeks keseragaman (*evenness*,  $E$ ) dihitung untuk mengetahui pemerataan individu antar spesies, dengan nilai  $E < 0,4$  menunjukkan keseragaman rendah, nilai 0,4–0,6 menunjukkan keseragaman sedang, dan nilai  $> 0,6$  menunjukkan keseragaman tinggi. Indeks dominansi Simpson ( $C$ ) digunakan untuk melihat tingkat dominasi spesies, di mana nilai  $C$  yang mendekati 0 menunjukkan tidak adanya spesies dominan, sedangkan nilai yang mendekati 1 menunjukkan dominasi spesies tertentu (Odum, 1993; Magurran, 2004).

Perbedaan kondisi habitat dan kualitas perairan antar lokasi dengan tingkat tekanan ekowisata yang berbeda dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), sedangkan hubungan antara keanekaragaman makrobentos dengan parameter kualitas air serta karakteristik habitat ikan dianalisis menggunakan regresi linear berganda.

## HASIL PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan pada tiga sungai di Kabupaten Jember yang mewakili tingkat ekowisata berbeda: KD (tinggi), KJ (sedang), dan Boma (rendah) dengan hasil sebagai berikut.

### Keanekaragaman Makrobentos

Data makrobentos yang diperoleh dengan metode *kicking* menggunakan jaring makrobentos dengan ukuran lebar 30 cm dengan jarak tendangan 50 cm.

Selanjutnya dihitung nilai indeks keanekaragamannya dengan rumus indeks Shannon-Wiener menghasilkan data pada tabel 1.

**Tabel 1. Indeks Keanekaragaman Makrobentos (H')**

Lokasi	H' 1	H' 2	H' 3	Rata-rata
Kampung Durian	2.706	2.397	2.324	2.476
Boma	2.216	2.532	1.903	2.217
Kali Jompo	1.989	2.648	2.038	2.225

Berdasarkan tabel 1 di atas, Kampung Durian adalah lokasi dengan keanekaragaman spesies tertinggi. Urutan keanekaragaman berdasarkan rata-rata H' dari tertinggi ke terendah adalah Kampung Durian (2.476) > Kali Jompo (2.225) > Boma (2.217).

Keanekaragaman dari ketiga lokasi tersebut selanjutnya diuji dengan anova untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan pada ketiga ekowisata berbeda tersebut. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2. Hasil Analisis Anova**

Anova					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between group	.130	2	.065	.708	.529
Within groups	.550	6	.092		
Total	.679	8			

Berdasarkan hasil analisis anova diatas, diketahui bahwa nilai signifikansi sebesar 0,529 lebih besar dari 0,05. Nilai signifikansi tersebut menunjukkan hasil tidak ada pengaruh secara nyata antara tiga tingkat ekowisata terhadap indeks keragaman makrobentos.

### **Faktor Kimia-Fisika Air sebagai Habitat Ikan**

Hasil Pengukuran DO, Suhu dan pH disajikan pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3. Rata-rata Parameter Fisik-Kimia Air pada Tiga Lokasi Sungai**

Lokasi	DO	pH	Suhu
KD 1	9.34	8.32	22
KD 2	8.96	8.17	22.4
KD 3	8.15	8.1	23.4
Boma 1	8.8	8.03	23.4
Boma 2	9.27	8.44	23.5
Boma 3	8.33	8.02	24
KJ 1	8.35	8.04	24.3
KJ 2	8.98	8.55	23.4
KJ 3	8.85	8.01	24.7

Pengukuran kualitas air menunjukkan pH cenderung ke arah basa (8.1–8.55), DO tinggi (>8 mg/L). Suhu lebih rendah di Wisata Kampung Durian yaitu (22-23.4)<sup>0</sup>C diikuti Sungai Boma (23.4-24)<sup>0</sup>C terakhir Kali Jompo (23.4-24.7)<sup>0</sup>C.

### Hubungan Antara Keanekaragaman Makrobentos dengan Kualitas Habitat Ikan di Sungai pada Tingkat Ekowisata Berbeda

Regresi linier berganda menunjukkan pengaruh variable X (suhu, pH dan DO) terhadap indeks keanekaragaman sebagai variabel Y. Hasil analisis regresi linear berganda dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4. Regresi Linear Berganda**

Anova						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.632	3	.211	22.185	.003 <sup>b</sup>
	Residual	.048	5	.010		
	Total	.680	8			

a. Dependent Variable: H

b. Predictors: (Constant), Suhu, pH, DO

Hasil uji F terlihat bahwa nilai  $p = 0.003$  lebih kecil dari signifikansi  $\alpha = 0.05$ . Hal ini menjelaskan bahwa faktor kimia-fisika air sebagai habitat ikan yang meliputi suhu, pH dan DO berhubungan nyata dengan indeks keanekaragaman makrobentos. Selanjutnya untuk melihat koefisien regresi yang menunjukkan pola hubungan antara pH, suhu dan DO dengan indeks keanekaragaman makrobentos disajikan pada tabel 5.

**Tabel 5. Koefisien Regresi Linear Berganda**

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized B	Coefficients Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
1	(Constant)	-1.892	2.319		-.816	.452
	DO	.064	.118	.092	.539	.613
	pH	.878	.235	.609	3.741	.013
	Suhu	-.151	.049	-.442	-3.077	.028

a. Dependent Variable: H

Tabel 5 menunjukkan bahwa hubungan DO dan pH dengan indeks makrobentos adalah positif, sedangkan suhu adalah negatif. Peningkatan DO dan pH sejalan dengan indeks keanekaragaman makrobentos, sedangkan penurunan suhu berpengaruh pada indeks keanekaragaman.

### PEMBAHASAN

Penelitian ini telah dilaksanakan pada tiga sungai di Kabupaten Jember yang mewakili tingkat ekowisata berbeda, yaitu KD (tinggi), KJ (sedang), dan Boma (rendah). Pengambilan sampel dilakukan tiga kali dengan interval dua minggu. Sampel makrobentos dikumpulkan menggunakan *D-frame net*, diawetkan, dan

diidentifikasi hingga tingkat genus/famili. Kualitas air diukur menggunakan parameter pH, suhu, dan DO. Data dianalisis dengan indeks keanekaragaman Shannon–Wiener ( $H'$ ), uji ANOVA satu arah, dan regresi linier berganda untuk mengetahui hubungan antara kualitas air (habitat ikan) dan  $H'$ .

Kampung Durian merupakan lokasi dengan keanekaragaman spesies tertinggi, yaitu 2,476, diikuti oleh Wisata Kali Jompo sebesar 2,225, dan terendah Wisata Boma sebesar 2,217. Perbedaan keanekaragaman makrobentos pada tiap lokasi diikuti dengan adanya perbedaan vegetasi di sekitar sungai dan penutupan badan sungai. Lokasi Wisata Kampung Durian memiliki vegetasi pohon di kanan dan kiri badan sungai dengan penutupan hampir penuh pada badan sungai. Wisata Boma dan Kali Jompo memiliki kemiripan dari segi vegetasi dan penutupan badan sungai, yaitu sangat sedikit pohon besar yang menutupi badan sungai sehingga terlihat lebih terbuka. Kesamaan karakteristik vegetasi dan penutupan pada kedua lokasi ini diikuti dengan nilai indeks keanekaragaman makrobentos yang tidak jauh berbeda, bahkan dapat dikatakan sama, yaitu sekitar 2,2.

Sungai di Wisata Kampung Durian memiliki substrat batu–kerikil, vegetasi rapat, dan peneduh penuh sehingga mendukung stabilitas komunitas makrobentos. Sebaliknya, Boma memiliki kondisi terbuka tanpa vegetasi dominan, sehingga lebih rentan terhadap fluktuasi suhu dan sedimentasi. Vegetasi riparian berfungsi sebagai penyedia sumber energi dan habitat bagi organisme bentik. Penelitian di Situ Gintung menunjukkan bahwa semakin tinggi kerapatan vegetasi riparian, semakin tinggi pula keanekaragaman makrozoobentos di perairan tersebut (Syarif et al., 2023).

Perbedaan nilai  $H'$  antar pengukuran menandakan adanya variasi temporal pada setiap lokasi. Pengambilan sampel yang berjarak waktu dua minggu dilakukan pada kondisi cuaca yang tidak menentu. Beberapa kali terjadi hujan deras sepanjang siang dan malam sebelum pengambilan sampel. Penemuan jenis makrobentos baru yang tidak ditemukan pada pengambilan sampel sebelumnya juga menandakan bahwa perbedaan waktu pengambilan sampel menyebabkan makrobentos yang ditemukan berbeda. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa komunitas makrobentos dipengaruhi oleh tempo musim (Li et al., 2017).

Hasil analisis ANOVA dengan nilai signifikansi sebesar 0,529 yang lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang nyata antara tiga tingkat ekowisata terhadap indeks keanekaragaman makrobentos. Hal ini mengartikan bahwa kunjungan wisata tidak memengaruhi indeks keanekaragaman makrobentos. Wisatawan yang datang juga tidak seluruhnya turun ke sungai untuk beraktivitas. Sebagian besar wisatawan hanya duduk-duduk sambil menikmati pemandangan dan makanan. Khusus di Wisata Kampung Durian, mayoritas wisatawan yang datang bertujuan untuk membeli dan menikmati durian dari kebun warga sekitar sambil menikmati pemandangan alam dan sungai. Penelitian yang dilakukan oleh Mufidah et al. yang membandingkan kelimpahan makrobentos di area yang terkena reklamasi dan tidak terkena reklamasi di sekitar Kawasan Wisata

Mandeh menunjukkan bahwa meskipun terdapat aktivitas wisata, kelimpahan makrobentos di area yang tidak terkena reklamasi tetap tinggi (Mufidah et al., 2025).

Pengukuran kualitas air sebagai habitat ikan menunjukkan bahwa nilai pH pada semua lokasi wisata relatif basa, yaitu pada kisaran 8. Nilai ini masih berada dalam batas baku mutu kualitas air sungai menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yaitu antara 6 hingga 9. Kondisi ini ideal bagi organisme akuatik karena sebagian besar biota hidup baik pada kisaran pH 7–8,5, sedangkan kondisi yang terlalu asam atau basa dapat mengganggu fungsi metabolisme dan respirasi (Wulandari et al., 2023). Menurut Dodds dan Whiles (2019), pH berperan penting dalam menjaga keseimbangan ion hidrogen di dalam air yang berdampak langsung pada kelarutan mineral, ketersediaan nutrien, dan toksisitas logam. Nilai pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengganggu proses metabolisme dan respirasi organisme sehingga berpengaruh terhadap komposisi serta kelimpahan makrozoobentos.

Nilai DO (*dissolved oxygen*) pada ketiga sungai di kawasan wisata menunjukkan kesamaan pola, yaitu rata-rata sekitar 8,8 mg/L. Kandungan oksigen terlarut pada kisaran tersebut tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa kondisi perairan masih baik serta mampu mendukung kehidupan organisme akuatik. Menurut Effendi (2003), kadar oksigen terlarut di atas 5 mg/L umumnya mencerminkan kondisi air yang tidak tercemar dan mendukung aktivitas respirasi biota air seperti ikan dan makrobentos. Tingginya kadar DO dapat dipengaruhi oleh aliran air yang deras, vegetasi riparian yang rimbun, dan proses fotosintesis organisme autotrof di perairan (Dodds & Whiles, 2019). Kondisi sungai di daerah wisata biasanya memiliki sirkulasi air yang baik dan aerasi alami akibat pergerakan arus yang cepat sehingga meningkatkan pelarutan oksigen dari atmosfer. Nilai DO yang stabil juga menandakan bahwa aktivitas wisata belum memberikan tekanan signifikan terhadap kualitas air, meskipun pemantauan berkala tetap diperlukan untuk mengantisipasi peningkatan beban organik akibat aktivitas manusia.

Hasil pengukuran suhu di tiga lokasi wisata menunjukkan adanya variasi yang cukup nyata. Suhu terendah terdapat di Wisata Kampung Durian (22,6 °C), diikuti oleh Wisata Boma (23,6 °C), dan tertinggi di Wisata Kali Jompo (24,1 °C). Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh waktu pengambilan sampel yang tidak bersamaan. Lokasi yang diukur lebih pagi memiliki suhu lebih rendah karena intensitas radiasi matahari masih terbatas, sedangkan pengukuran yang dilakukan menjelang siang cenderung menunjukkan peningkatan suhu akibat pemanasan alami. Menurut Sany et al. (2023), suhu air merupakan faktor fisik yang sangat menentukan kondisi ekosistem sungai dan dapat memengaruhi struktur komunitas makrozoobentos. Suhu yang lebih tinggi biasanya meningkatkan aktivitas metabolik organisme, namun juga dapat mengurangi kadar oksigen terlarut sehingga memengaruhi kelimpahan dan komposisi biota benthik. Dengan demikian,

variasi suhu antar lokasi wisata kemungkinan menjadi salah satu faktor penyebab perbedaan tingkat keanekaragaman makrobentos yang diamati.

Analisis regresi menunjukkan bahwa uji F menghasilkan nilai  $p = 0,003$  yang lebih kecil dari signifikansi  $\alpha = 0,05$ , sehingga dapat dikatakan bahwa suhu, pH, dan DO berhubungan nyata dengan indeks keanekaragaman makrobentos. Koefisien regresi linier berganda menunjukkan bahwa DO dan pH berpengaruh positif terhadap indeks keanekaragaman makrobentos, sedangkan suhu memiliki pengaruh negatif. Temuan ini konsisten dengan penelitian di segmen hulu Sub DAS Konto, Kabupaten Malang, di mana nilai suhu yang lebih tinggi berkorelasi dengan penurunan keanekaragaman makroinvertebrata (Djarmiko et al., 2025). Studi di Sungai Selagan, Bengkulu, juga mencatat bahwa stasiun hulu dengan suhu lebih tinggi menunjukkan keragaman yang lebih rendah dibandingkan stasiun dengan suhu yang lebih moderat (Singkam et al., 2019). Penelitian di Tambak Cemandi menunjukkan bahwa nilai DO dan pH yang lebih baik berkaitan dengan struktur komunitas makroinvertebrata yang lebih beragam (Yudhistira et al., 2022). Hal ini mendukung bahwa kondisi kualitas fisika-kimia air, terutama suhu, DO, dan pH, memainkan peranan utama dalam menentukan keragaman biotik di sungai.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, terdapat keterkaitan yang jelas antara kondisi habitat ikan dengan keanekaragaman makrobentos, di mana keduanya dipengaruhi oleh kombinasi faktor biotik dan abiotik perairan. Parameter seperti suhu, pH, dan oksigen terlarut terbukti memainkan peranan penting dalam menjaga keseimbangan komunitas biota sungai. Secara umum, aktivitas ekowisata di lokasi penelitian masih dalam taraf yang mendukung keberlanjutan ekosistem, meskipun peningkatan kunjungan wisata berpotensi menimbulkan tekanan lingkungan apabila tidak disertai dengan pengelolaan yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ananta, S., & Harahap, A. (2022). Distribusi dan keanekaragaman makrozoobentos di Sungai Barumun, Kabupaten Labuhanbatu Selatan. *BIOEDUSAINS*, 5(1), 286–294. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v5i1.3522>
- Azizah, M. N. L., Wulandari, D., & Marianti, A. (2021). Tantangan mewujudkan ekowisata sungai berkelanjutan untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dan melindungi keanekaragaman hayati di Indonesia. *Indonesian Journal of Conservation*, 10(2), 72–77. <https://journal.unnes.ac.id/nju/ijc/article/download/31072/12206>
- Djarmiko, A., Dermawan, V., & Yuliani, E. (2025). Makroinvertebrata sebagai bioindikator penilaian kualitas air dengan pendekatan berbasis ekohidrolik pada segmen hulu Sub DAS Konto, Kabupaten Malang. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 5(2), 924–933. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2025.005.02.087>



- Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2019). *Freshwater ecology: Concepts and environmental applications of limnology* (3rd ed.). Academic Press.
- Dudgeon, D. (2019). Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R960–R967. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.002>
- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air: Bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Kanisius.
- Hertika, A. M. S., Sudaryanti, S., Musa, M., Amron, K., Putra, R. B. D. S., Alfari, M. A., et al. (2024). Benthic macroinvertebrates as bioindicators to detect the level of water pollution in the upstream segment of Brantas River Watershed, Malang, East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(2), 632–643. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250222>
- Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Kadim, M. K., & Pasingi, N. (2024). Kondisi habitat fisik dan keanekaragaman makroinvertebrata sebagai indikator pencemaran di Sungai Bone, Gorontalo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(3), 301–310. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.3.301-310>
- Li, W., Zhang, L., & Liu, H. (2017). Seasonal dynamics of benthic macroinvertebrates in Three Gorges Reservoir catchment, China. *Revista Chilena de Historia Natural*, 90, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s40693-017-0069-y>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
- Mufidah, M. N. (2025). Comparison of the abundance of macrozoobenthos in areas affected and unaffected by reclamation around the Mandeh tourism area. *Jurnal Tropik Marine Science*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.31258/tromes.3.2.59-66>
- Nurjanah, U., Ibrahim, & Dahlia. (2015). Studi keanekaragaman makrobentos sebagai bioindikator kualitas air Sungai Bedadung, Jember. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (pp. 202–209). Surabaya, Indonesia.
- Odum, E. P. (1993). *Basic ecology*. Saunders College Publishing.
- Pahrela, Y., Elvince, R., & Kembarawati. (2022). Hubungan antara kualitas air dengan keanekaragaman ikan di Danau Tahai, Kecamatan Bukit Batu, Kota Palangka Raya. *Journal of Tropical Fisheries*, 17(2), 86–96. <https://doi.org/10.36873/jtf.v17i2.8774>
- Purba, H. E., Djuwito, D., & Haeruddin, H. (2015). Distribusi dan keanekaragaman makrozoobentos pada lahan pengembangan konservasi mangrove di Desa Timbul Sloko, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 4(4), 57–65. <https://doi.org/10.14710/marj.v4i4.9774>

- Sany, Z. M., Arisoesilaningsih, E., & Retnaningdyah, C. (2023). Evaluation of Menala River water quality based on benthic macroinvertebrate as bioindicator to support tourism in Sumbawa Island, Indonesia. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.21776/ub.jitode.2023.011.01.01>
- Singkam, A. R., Husni, Z., & Kasrina, K. (2019). Kualitas Sungai Selagan Bengkulu berdasarkan fisika-kimia perairan dan keragaman makroinvertebrata. *Jurnal Biosilampari: Jurnal Biologi*, 4(2), 70–79. <https://doi.org/10.31540/biosilampari.v4i2.1526>
- Sudia, L. B., Indriyani, L., Ode Muhammad Erif, L., Hidayat, H., Saleh Qadri, M., Alimuna, W., et al. (2020). Kelimpahan makrozoobenthos dan kualitas air sungai yang bermuara di Teluk Kendari. *Jurnal Ecosolum*, 9(1), 90–100. <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v9i1.10342>
- Syarif, A., Hadi, M., & Rahman, D. (2023). Vegetasi riparian dan komunitas makrozoobentos di Situ Gintung. *Jurnal Kaunia: Sains dan Lingkungan*, 19(1), 45–53.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Wijayanti, E., Fauzi, A., Widiyansyah, A. T., Mustofa, Z., Setyanto, H. A., Sukoco, R. M., et al. (2015). The inventory of aquatic macroinvertebrates in various waterfalls in the eastern region of Malang, East Java. In *International Conference on Global Resource Conservation* (pp. 150–153).
- Wulandari, N., Fitriyah, N., & Sholihah, S. (2023). Studi keanekaragaman makrozoobentos pada ekosistem perairan lotik di Desa Jati Wates dan Gumulan. *Jurnal EPIC*, 7(1), 16–22. <https://doi.org/10.32764/epic.v7i1.1432>
- Yudhistira, L., Munfarida, I., & Setyowati, R. D. N. (2022). Korelasi kualitas air dengan keanekaragaman dan keseragaman makroinvertebrata sebagai bioindikator di Sungai Tambak Cemandi, Desa Kalanganyar, Sidoarjo. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol14.iss1.art1>
- Zajicek, P., & Wolter, C. (2019). The effects of recreational and commercial navigation on fish assemblages in large rivers. *Science of the Total Environment*, 646, 1304–1314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.403>